

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-195112

(P2001-195112A)

(43) 公開日 平成13年7月19日 (2001.7.19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 5 B 19/4093		G 0 5 B 19/4093	D 4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/00		B 2 3 K 26/00	M 5 B 0 4 9
	3 3 0		3 3 0 5 H 2 6 9
B 2 3 Q 15/00	3 0 1	B 2 3 Q 15/00	3 0 1 J
			3 0 1 C

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-3180 (P2000-3180)

(22) 出願日 平成12年1月12日 (2000.1.12)

(71) 出願人 000002107

住友重機械工業株式会社

東京都品川区北品川五丁目9番11号

(72) 発明者 西村 卓也

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重

機械工業株式会社平塚事業所内

(74) 代理人 100071272

弁理士 後藤 洋介 (外1名)

Fターム (参考) 4E068 AF01 CA09 CA16 CB02 DA11

5B049 AA04 BB07 CC21 EE01 EE31

EE41 GG07

5H269 AB11 BB05 BB08 CC01 GG08

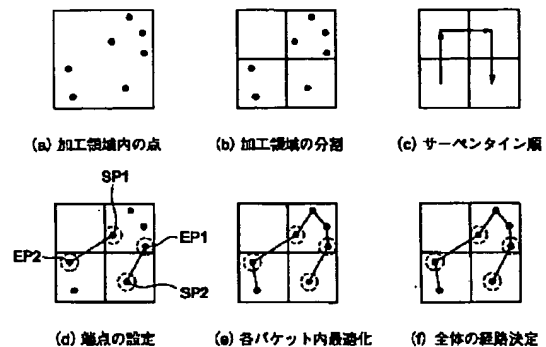
NN16 NN17

(54) 【発明の名称】 レーザドリリング経路決定方法

(57) 【要約】

【課題】 経路決定に要する計算時間を短縮できるレーザドリリング経路決定方法を提供すること。

【解決手段】 あらかじめ設定されている複数の穴あけ位置情報に基づいて、レーザ光の照射位置の順序を規定する経路を巡回セールスマン問題を適用して決定する。巡回セールスマン問題による経路決定は、レーザ光の照射位置を含む加工領域を複数のバケットに分割するステップと、分割された複数のバケットをどのような順序で巡回するかを規定する巡回路を決定するステップと、分割された各バケットにおいてレーザ光照射の始点となる始端点とレーザ光照射の終点となる終端点とを決定するステップと、分割された各バケットにおいて前記始端点と前記終端点との間のレーザ光照射位置に対して最適経路を決定するステップとを含み、あるバケットにおける終端点は、次に巡回されるべきバケットにおける始端点に結び付けられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光を照射して基板に複数の穴あけ加工を行うレーザドリリングにおいて、あらかじめ設定されている複数の穴あけ位置情報に基づいて、レーザ光の照射位置の順序を規定する経路を巡回セールスマン問題を適用して決定することを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項2】 請求項1記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記巡回セールスマン問題の解法としてシミュレーテッドアニーリング法を採用したことを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項3】 請求項1記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記巡回セールスマン問題の解法としてジェネティックアルゴリズムを採用したことを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項4】 請求項1記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記巡回セールスマン問題による経路決定は、すべてのレーザ光の照射位置を含む加工領域を複数のバケットに分割する第1のステップと、分割された複数のバケットをどのような順序で巡回するかを規定する巡回路を決定する第2のステップと、分割された各バケットにおいてレーザ光照射の始点となる始端点とレーザ光照射の終点となる終端点とを決定する第3のステップと、分割された各バケットにおいて前記始端点と前記終端点との間のレーザ光照射位置に対して最適経路を決定する第4のステップとを含み、あるバケットにおける終端点は、次に巡回されるべきバケットにおける始端点に結び付けられることを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項5】 請求項4記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記第1のステップにおける分割数は、あらかじめシミュレーションを行い、レーザ光の照射位置の数に応じて最適な分割数が決定されることを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項6】 請求項4あるいは5記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記第2のステップにおける巡回路の決定は、サーペンタイン(serpentine)順で行われることを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項7】 請求項4～6のいずれかに記載のレーザドリリング経路決定方法において、前記第3のステップにおける始端点と終端点の決定はそれぞれ、巡回方向に関して手前側のバケットにおける終端点との距離、巡回方向に関して先側のバケットにおける始端点との距離が最小になるものが選択されることを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

【請求項8】 請求項4～7のいずれかに記載のレーザ

ドリリング経路決定方法において、

前記第4のステップにおける最適経路の決定には、ニアリストネイバー(nearest neighbor)法、2-opt法を適用することを特徴とするレーザドリリング経路決定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光を照射して基板に複数の穴あけ加工を行うレーザドリリングに関し、特に複数のドリリング、すなわちレーザ光の照射を最適な順序で行うようにするための経路決定方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の電子機器の小型化、高密度実装化の要求に伴い、複数のプリント配線基板を重ね合わせた多層プリント配線基板が提供されるようになってきている。このような多層プリント配線基板では、上下に積層されたプリント配線基板のそれぞれに形成された導電層間を電気的に接続するため、これらの基板に、スルーホールあるいはビアホールと呼ばれる穴が形成される。そして、これらの穴の内部に導電膜を形成することにより、各プリント配線基板の導電層間の接続が行われる。

【0003】プリント配線基板に形成される穴は、最近のプリント配線基板の小型化、高機能化に伴って小径化し、直径0.1mm以下になってきている。このような小径の穴を精度良く形成するために、パルス発振型のレーザ光が用いられている。

【0004】従来のパルス発振型レーザを用いたレーザ加工装置を図11に示す。このレーザ加工装置は、パルス状レーザ光を発生するレーザ発振器61と、レーザ発振器61からのレーザ光を被加工面へ導くための第1～第5ミラー62、63、64、65及び66と、光路上に配置されたレンズ67、マスク68、ビームエキスパンダ69、ガルバノスキャナ70、及びfθレンズ71を有している。

【0005】レーザ発振器61から出射したレーザ光は、第1ミラー62で反射され、第2ミラー63に入射する。第2のミラー63で反射されたレーザ光は、光路に沿って移動可能なレンズ67を通り平行光に変換され、第3、第4及び第5ミラー64、65及び66で反射され、マスク68に到達する。

【0006】マスク68には、所定径の穴が形成されており、その穴に照射されたレーザ光のみを通過させる。即ち、レーザ光のビーム径を制限する。マスク68を通過したレーザ光は、ビームエキスパンダ69で所定のビーム径に集光される。そして、ビームエキスパンダ69から出射したレーザ光は、ガルバノスキャナ70で振られ、fθレンズ71に入射する。fθレンズ71に入射した光は、集光され、被加工面の所定の位置に垂直に入射する。被加工面では、レーザ光が照射された部分が蒸

発し、プリント配線基板に穴が形成される。

【0007】この種のレーザ加工装置では、図12に示すように、多数の穴を一定のピッチで配列した状態で形成する場合がある。多数の穴の形成位置はあらかじめ位置情報として与えられており、図示しない制御装置がガルバノスキャナ70を制御して位置情報で規定された位置に順にレーザ光を照射して穴あけが行われる。あるいはまた、被加工部材がX軸、Y軸に沿って可動のX-Yステージに搭載されている場合には、このX-Yステージの制御と合わせてレーザ光の照射位置の位置決めが行われる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、穴あけ加工は、図12に示されるような一定ピッチで配列した状態で形成されるとは限らない。すなわち、図13に示されるように、ある加工領域内に、いわばランダムに形成される場合もある。勿論、このような場合であっても、各穴の位置情報が与えられるので、穴あけ加工そのものは可能である。

【0009】しかし、多数の穴を加工領域にばらばらに点状のように形成する場合、どのような順序、すなわち経路で穴あけ加工を行うかが加工時間を短くするうえで重要となる。

【0010】従来の経路決定方法では、正方形のような加工領域内にあるすべての点（照射位置）について、1軸ソート（各点のX座標、Y座標のうち、Y座標のみを使ってソートする方法）を使って順番を並び替え、ソートされた順番通りに穴あけを行っていた。これを簡略化して示したのが図14であり、矢印に沿った順番で穴あけが行われる。しかし、この方法では1回当たりの点間の移動距離が、加工領域の一辺の長さ分にもなる可能性があり（平均では一辺の長さの半分程度）、同時にガルバノミラーの整定時間も余裕を持って設定する必要があった。これは、加工時間が長くなることを意味する。

【0011】そこで、本発明の課題は、加工時間が短くなるようなレーザドリリング経路決定方法を提供することにある。

【0012】本発明の他の課題は、経路決定に要する計算時間を短縮できるレーザドリリング経路決定方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、レーザ光を照射して基板に複数の穴あけ加工を行うレーザドリリングにおいて、あらかじめ設定されている複数の穴あけ位置情報に基づいて、レーザ光の照射位置の順序を規定する経路を巡回セールスマン問題を適用して決定することを特徴とするレーザドリリング経路決定方法が提供される。

【0014】前記巡回セールスマン問題の解法としては、シミュレーテッドアニーリング法を採用することが

できる。

【0015】前記巡回セールスマン問題の別の解法として、ジェネティックアルゴリズムを採用することができる。

【0016】前記巡回セールスマン問題による最適な経路決定、すなわち計算時間の短い経路決定は、すべてのレーザ光の照射位置を含む加工領域を複数のバケットに分割する第1のステップと、分割された複数のバケットをどのような順序で巡回するかを規定する巡回路を決定する第2のステップと、分割された各バケットにおいてレーザ光照射の始点となる始端点とレーザ光照射の終点となる終端点とを決定する第3のステップと、分割された各バケットにおいて前記始端点と前記終端点との間のレーザ光照射位置に対して最適経路を決定する第4のステップとを含み、あるバケットにおける終端点は、次に巡回されるべきバケットにおける始端点に結び付けられる。

【0017】前記第1のステップにおける分割数は、あらかじめシミュレーションを行い、レーザ光の照射位置の数に応じて最適な分割数が決定される。

【0018】前記第2のステップにおける巡回路の決定は、サーペンタイン（serpentine）順で行われる。

【0019】前記第3のステップにおける始端点と終端点の決定はそれぞれ、巡回方向に関して手前側のバケットにおける終端点との距離、巡回方向に関して先側のバケットにおける始端点との距離が最小になるものが選択される。

【0020】前記第4のステップにおける最適経路の決定には、ニアリストネイバー（nearest neighbor）法、2-opt法を適用する。

【0021】

【発明の実施の形態】図1～図4を参照して、本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明を実施するためのレーザドリリング加工装置の構成を示し、CPU10、1つの加工領域における複数の点データ（穴の加工位置、すなわちレーザ光の照射位置データ）をファイル形式で入力するためのファイル入力装置11、CPU10の制御下で穴あけ加工を行うレーザドリリング加工実行装置12とから成る。レーザドリリング加工実行装置12は図11で説明したような構成の加工装置であるが、図11の構成に限定されるものではないことは勿論である。また、CPU10はこの加工装置を制御する制御装置で実現される。CPU10は、機能的に、レーザドリリング経路決定部10-1と、その他のドリリング条件設定部10-2とに分けられる。

【0022】CPU10は、ファイル入力装置11から与えられるドリリング地点全点のX座標およびY座標を入力とし、穴あけの順序を工程処理時間が短縮されるように並び替えてレーザドリリング加工実行装置12に制

御データを渡す。

【0023】図2はCPU10による経路決定動作のフローチャートを示し、図3は経路決定の経過を簡略化して示した図である。最初に、ステップS1では、CPU10に対してファイル入力装置11から1つの加工領域におけるドリリング地点全点のX座標およびY座標のデータが入力される。

【0024】ステップS2では、はじめに1つの加工領域を複数のバケットに細分割し(図3b)、次にバケットを廻る順序(巡回路)の情報を各バケットに設定し(図3c)、続いて各バケット内の端点を決定する(図3d)という処理を行う。

【0025】図4は、実際の例に近い、1つの加工領域20を9×9=81個のバケット20-1に分割した例を示す。

【0026】加工領域を細分割する分割数は、あらかじめ加工の前にシミュレーションを行い、穴数に応じて最適な分割数が設定される。また、バケットを廻る順序は、あらかじめ行った実験の結果、図3(c)あるいは図4に矢印で示すように、ドリリング地点がランダムな配置の時もっとも良好な結果を示したサーペンタイン(serpentine)順を用いることにする。更に、各バケット内の端点の決定は、各バケットにおいてドリリングの始点となる始端点とドリリングの終点となる終端点について行われる。特に、図3(d)に示されるように、あるバケットにおける始端点SP1と終端点EP1の決定はそれぞれ、巡回方向に関して手前側のバケットにおける終端点EP2との距離、巡回方向に関して先側のバケットにおける始端点SP2との距離が最小になるものが選択される。

【0027】上記のステップS2に続いてステップS3の処理が実行される。ステップS3は、分割された各バケット毎に始端点と終端点との間のドリリング点に対して最適経路を決定するための処理である(図3e参照)。ステップS3では、ステップS2での加工領域分割処理により、各バケットのドリリング点の平均個数は元の加工領域内のドリリング点の個数より大きく減少している。ここでは、初期設定時のドリリング位置訪問順序をもとに、移動距離が最短になるように改善する。この問題は、巡回セールスマン問題(元の位置に戻る必要が無く、端点を固定しているタイプ)である。改善法としては、計算速度が速く誤差の小さい方法として、巡回セールスマン問題のヒューリスティクスとして知られるニアリストネイバー(nearest neighbor)法と2-opt法を適用した。

【0028】図5は、ニアリストネイバー法と2-opt法とによる改善の経過を示した図である。

【0029】ステップS3の処理に続いてステップS4が実行される。ステップS4は、あるバケットにおける終端点を、次に巡回されるべきバケットにおける始端点

に結び付けることで加工領域全体の経路を決定する処理である(図3f参照)。すなわち、ステップS2で定められた各バケットの終端点の次に訪問するドリリング点を、ステップS2で定められたバケットを廻る順序に従って決定していくだけの処理である。

【0030】以上の処理により、CPU10における計算時間を最短にし、かつ加工時間を最短にする最適な経路を決定することができる。

【0031】図6は～図8はシミュレーションの例を示し、図6は加工領域に設定されたドリリング点を示す。図7は、図6のドリリング点に対し、従来の1軸ソートによる方法でドリリング経路を設定した場合の例を示し、図8は、本発明の手法によりドリリング経路を設定した場合の例を示す。

【0032】図9は、本発明の第1の変形例として巡回セールスマン問題の解法にシミュレーテッドアニーリング法を採用した場合のドリリング経路を示す。シミュレーテッドアニーリング法というのは、高温の溶融状態にある物質に対し温度を徐々に冷却することにより、エネルギー的に安定した結晶構造が生成される物理現象に着目し、これをシミュレーションすることによって局所最適解が多数存在する多峰性関数の最適化問題や、組合わせ最適化問題を解く方法として提案された手法であり、例えば「電子情報通信学会論文誌」、Vol. J81-A, No. 12, 1783～1791頁(1998年、12月)に、「巡回セールスマン問題に対する効率的な混合型遺伝的アルゴリズムの一検討」(以下、第1の文献と呼ぶ)と題して開示されており、あるいはまた「計測自動制御学会論文集」、第31巻、第5号、598～605頁(1995年5月)に、「遺伝アルゴリズムによる巡回セールスマン問題の一解法」(以下、第2の文献と呼ぶ)と題して開示されている。

【0033】シミュレーテッドアニーリング法は、簡単に言えば、以下の手順により実行される。

【0034】01:開始

02:パラメータの設定

03:任意の初期解x(ある経路のこと)を設定

04:ここからループ作業(04から10まで)

05:指定回数繰返し(05から8まで)

06:xの近傍解 $x' = N(x)$ をランダムに選ぶ

07:xの経路長と $x'$ の経路長とを比較して、

08:解経路の更新作業

もし経路xの経路長より $x'$ の経路長の方が短いなら、解xを $x'$ で更新

そうでなくても(経路長が長くなるとしても)ある確率で解xを $x'$ で更新する

09:パラメータの更新

10:ループ脱出条件

11:解の出力

12:終り

上記の手順において、パラメータの設定は、シミュレーションにより下準備をして、良好な解が出るように設定した。解 $x$ の初期値としては、乱数によりランダムに設定した。繰返し回数も穴数の定数倍になるようにするが、その定数はシミュレーションにより下準備し設定した。近傍解 $N(x)$ の決定法としては、2-opt法により経路の一部を交換した(2-opt法において経路長が短くならない交換だとしてもとりあえず交換する)。ある確率というのは、Metropolisの方法(上記の第2の文献参照)を用いた。

【0035】図10は、第2の変形例として巡回セールスマン問題の解法にジェネティックアルゴリズムを採用した場合のドリリング経路を示す。ジェネティックアルゴリズムというのは、自然界における生物進化のモデル、すなわち世代を形成している個体の集合(個体群)の中で、環境への適応度の高い個体が次世代により多く生き残り(選択)、また交叉及び突然変異を起こしながら次の世代を形成していく過程を用いた最適化方法であり、これも上記の第1及び第2の文献に開示されている。

【0036】図9、図10の例では、図8の例に比べて経路の計算時間は長くなるが、ドリリング点間の距離は図7の従来例に比べて短くできるので、ガルバノミラーの整定時間に関する問題を解消でき、従来法に比べて加工時間の短縮を実現できる効果が得られる。

【0037】以上、本発明の実施の形態を、プリント配線基板に穴あけを行う加工装置に適用して説明したが、加工対象はプリント配線基板に制限されるものではない。また、レーザ加工装置の構成も図11に示されたような構成に限定されるものではなく、レーザにより多数の穴あけを行う装置全般に適用できる。

【0038】

【発明の効果】本発明によれば、以下の効果が得られる。

【0039】(1) 工程時間の短縮

現行の1軸ソートのみの方法に比べて、移動距離を大幅に改善できる。それに伴い、ガルバノミラーの整定時間にもよるが、移動にかかる時間を大幅に改善できる。その結果、レーザドリリング加工の工程時間が短縮され、生産の効率が上がる。

【0040】(2) 高速なCPU計算時間

レーザドリリング位置訪問順序決定問題は、巡回セールスマン問題の典型例であるといえるが、よく知られている準最適化法では、効率的なもので、平均200穴程度の領域が120穴程度あれば、CPU計算時間がかかりすぎる。しかし、本発明では、加工領域の分割と高速で知られる準最適化法を巧みに用いて、極めて短い計算

時間でドリリング位置訪問順序決定を行うことができる。

【0041】(3) ガルバノミラーの整定時間の短縮  
本発明による訪問順序改善により、ドリリング位置から次のドリリング位置までの距離の最小値が改善されている。ガルバノミラーの整定時間は移動距離の増加に対し単調増加であるので、1移動の最大距離により整定時間を決定すれば、整定時間を短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明が適用されるレーザ加工装置の概略構成を示したブロック図である。

【図2】図1のCPUによる経路決定動作を説明するためのフローチャートである。

【図3】図2の経路決定動作を、加工領域を簡略化して説明するための図である。

【図4】加工領域を複数のバケットに分割した例及び各バケットの巡回経路の例を示した図である。

【図5】1つのバケット内での最適経路決定におけるニアリストネイバー法と2-opt法とによる改善の経過を示した図である。

【図6】加工領域に設定された多数のドリリング点のシミュレーション例を示した図である。

【図7】図6の例に適用された従来法によるドリリング経路のシミュレーション例を示した図である。

【図8】図6の例に適用された本発明によるドリリング経路のシミュレーション例を示した図である。

【図9】本発明の第1の変形例によるドリリング経路のシミュレーション例を示した図である。

【図10】本発明の第2の変形例によるドリリング経路のシミュレーション例を示した図である。

【図11】レーザ加工装置の一例の構成を示した図である。

【図12】プリント配線基板に形成される多数の穴の配列の一例を示した図である。

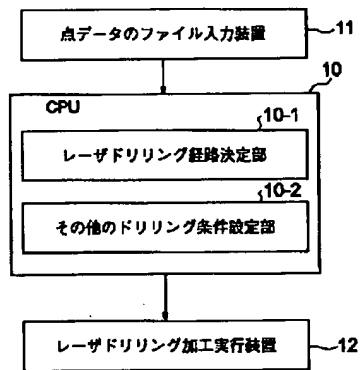
【図13】プリント配線基板にランダムに形成される多数の穴の配列の一例を示した図である。

【図14】従来法によるドリリング経路の一例を簡略化して示した図である。

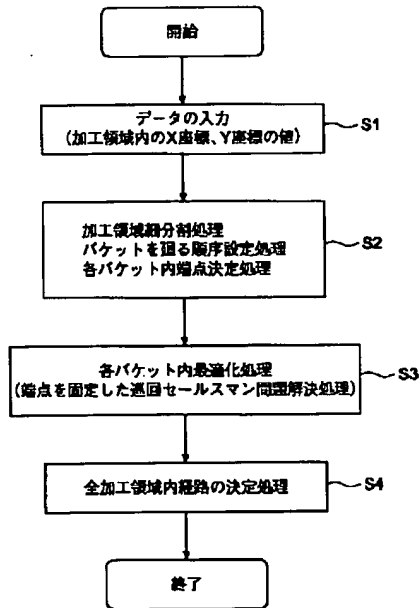
【符号の説明】

- 40 61 レーザ発振器
- 62～66 第1～第5ミラー
- 67 レンズ
- 68 マスク
- 69 ビームエキスパンダ
- 70 ガルバノスキャナ
- 71  $f\theta$ レンズ

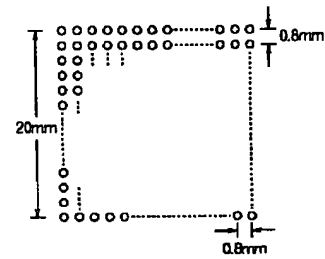
【図1】



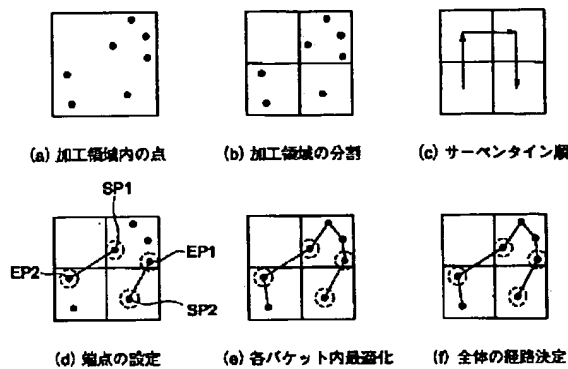
【図2】



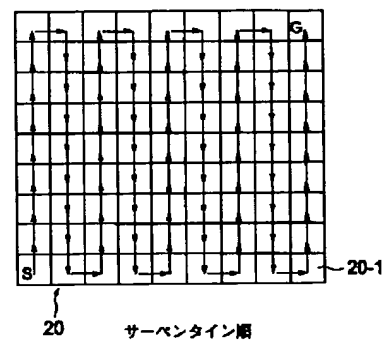
【図12】



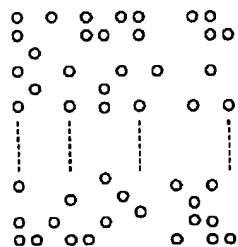
【図3】



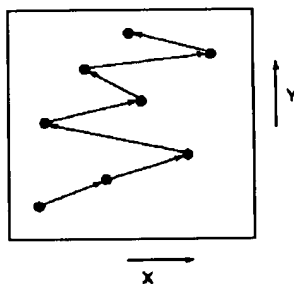
【図4】



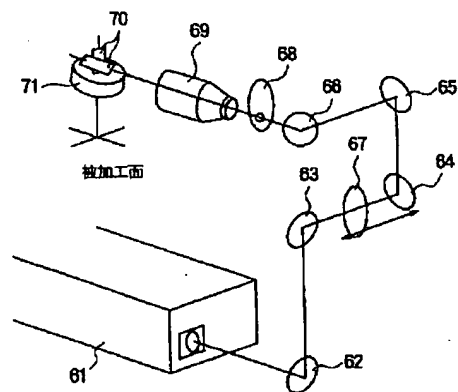
【図13】



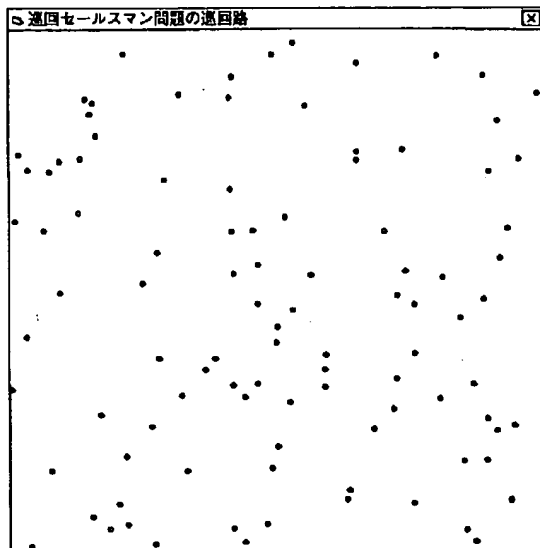
【図14】



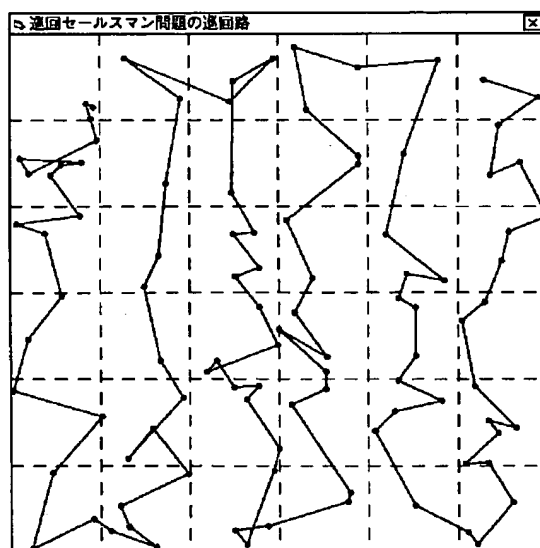
【図11】



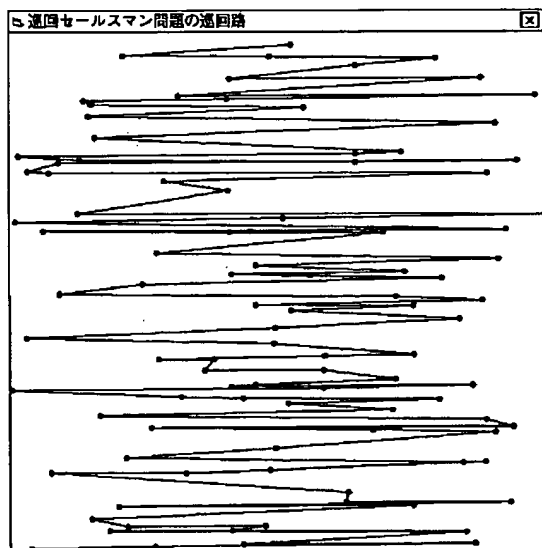
【図6】



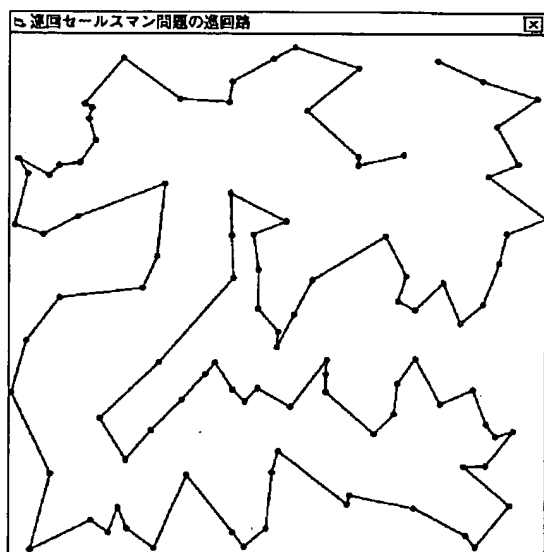
【図8】



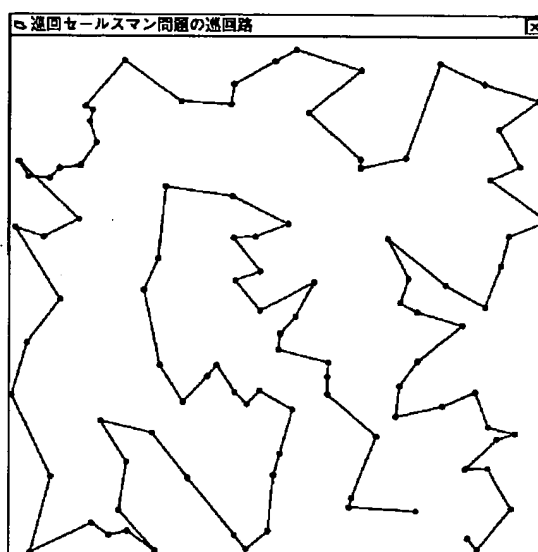
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

B23Q 15/00

G06F 17/60

// B23K 101:42

識別記号

303

FI

B23Q 15/00

B23K 101:42

G06F 15/21

メモコード(参考)

303Z

R